

УДК 621.392

## АНАЛИЗ ЗАТРАТ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ УСТРОЙСТВ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ СРЕДСТВАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

к.т.н. В.М. Безрук  
(представил проф. О.Г. Руденко)

Рассмотрены особенности практической реализации устройств распознавания сигналов средствами вычислительной техники. Приведены результаты анализа затрат по объему вычислений и памяти в режимах обучения и распознавания.

При реализации устройств распознавания в ряде прикладных задач распознаваемые объекты, явления или их состояния описываются сигналами [1, 2]. При этом необходимо выполнить следующие процедуры: получение исходного конечномерного описания  $\vec{X}$  размерности  $L$  путем дискретизации непрерывных сигналов; отображение векторов  $\vec{X}$  в  $N$ - мерное пространство информативных признаков -  $\vec{Z} = B\vec{X}$  ( $B$  - матрица информативных признаков размерности  $L \times N$ ); принятие решения о принадлежности наблюдаемых сигналов к одному из заранее установленных классов с помощью выбранного классификатора. Устройства работают в режимах обучения и распознавания. В режиме обучения по классифицированным выборкам сигналов вычисляются информативные признаки сигналов и оцениваются параметры классификатора. В рабочем режиме производится автоматическое распознавание сигналов. Для примера на рис.1 приведена структурная схема байесовского квадратичного классификатора для случая гауссовского распределения сигналов. Здесь  $\vec{m}^i, R^i, \lambda^i$  - оценки соответственно средних векторов, корреляционных матриц и пороговых значений, полученные по обучающим выборкам сигналов. Принятие решений с помощью данного классификатора сводится к вычислению  $M$  значений расстояний для наблюдаемого вектора  $\vec{X}$  и выбора минимального значения. Таким образом, при реализации устройств распознавания сигналов необходимо выполнять векторно-матричные операции, что определяет возможность их реализации вычислительными средствами. Существуют разные методы построения информативных признаков сигналов и разные виды решающих правил, определяющих классификатор. От их выбора зависят как качество распознавания сигналов, так и затраты в режимах обучения и распознавания.

В качестве характеристик затрат рационально выбрать время работы устройств в режиме обучения и распознавания, а также требуемые при этом

объемы памяти. Эти характеристики могут быть получены в результате анализа алгоритмов работы устройств распознавания численными методами.

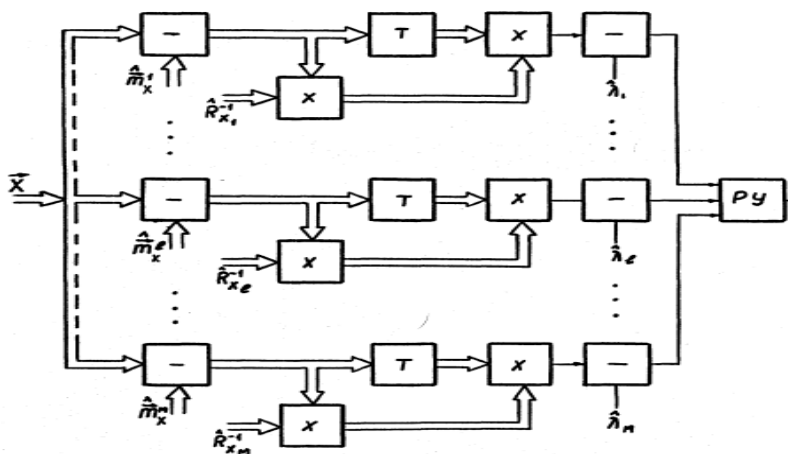


Рис. 1. Структурная схема байесовского квадратичного классификатора сигналов

Время обучения и распознавания устройства определяется как

$$T_0 = K_{c0}t_c + K_{y0}t_y + K_{c0}t_c + K_{g0}t_g;$$

$$T_p = K_{cp}t_c + K_{yp}t_y,$$

где  $t_c, t_y, t_g$  - время, затраченное на выполнение одной операции сложения, умножения и деления;  $K_{c0}, K_{y0}, K_{g0}, K_{cp}, K_{yp}$  - оценка количества операций сложения, умножения, деления, выполняемых соответственно в режиме обучения и распознавания.

Аналитические выражения для объемов вычислений, а также требуемых при этом объемов памяти в режиме обучения и распознавания  $V_0, V_p$  для различных вариантов синтезированных устройств распознавания даны в [1, 2]. Сравнительный анализ характеристик реализуемости устройств распознавания при использовании разных информативных признаков и решающих правил показывает, что наибольшими затратами по времени и требуемому объему памяти в режиме обучения обладает устройство с использованием индивидуальных признаков Карунена-Лоэва, а наименьшими - устройство с общими признаками Карунена-Лоэва. Промежуточное положение занимает устройство с дискриминантными признаками. Реализационные затраты устройства в режиме распознавания при использовании одного и того же решающего правила, но разных способов построения признаков одинаковы. При этом использование более простых решающих правил существенно уменьшает затраты, особенно в режиме распознавания.

Реализационные затраты существенно зависят от размерности исходного представления сигналов  $L$ , а также числа распознаваемых сигналов  $M$ . Поэтому введение этапа сжатия исходного конечномерного представления сигналов существенно упрощает затраты устройства в режиме распознавания. Основные затраты по времени работы и требуемому объему памяти относятся к режиму обучения. Если режим обучения может быть выполнен отдельно на мощной ЭВМ, то использование на этапе распознавания сжатого представления сигналов позволяет получить значительный выигрыш по затратам. При этом устройство в режиме распознавания может быть реализовано простыми вычислительными средствами. Этот вывод хорошо иллюстрирует сравнительный пример расчета некоторых характеристик реализуемости устройств распознавания  $S^b$ ,  $S^c$ , основанных на байесовском квадратичном классификаторе, в котором используется соответственно исходное  $\bar{X}$  и сжатое конечномерное представление сигналов  $\bar{Z} = B\bar{X}$ . Расчеты, выполненные при  $N = 0.1 \cdot L$ ;  $t_c = 10^{-5}c$ ,  $t_y = 3 \cdot 10^{-5}c$ ,  $t_g = 5 \cdot 10^{-5}c$ , приведены в табл. 1.

Таблица 1

Затраты по времени распознавания и объему памяти

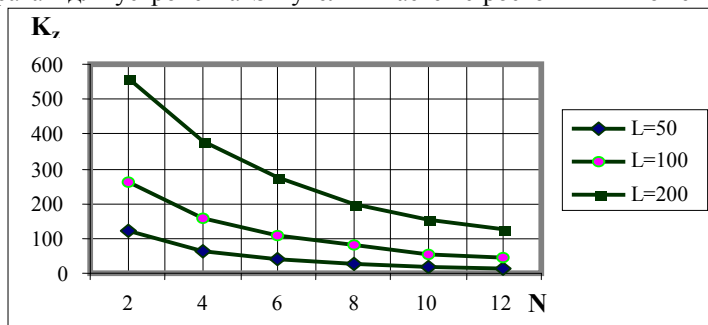
L	M	T <sub>p</sub> (сек)		V <sub>p</sub> (маш. слов)	
		S <sup>b</sup>	S <sup>c</sup>	S <sup>b</sup>	S <sup>c</sup>
100	10	9	0,13	101110	2220
	20	18	0,25	202120	3330
150	10	20,25	0,27	226660	4825
	20	40,5	0,52	453170	7235

Из таблицы видно, что устройство распознавания сигналов, в котором используется этап сжатия исходного представления сигналов, характеризуется существенным снижением аппаратурных и вычислительных затрат в режиме распознавания, но это упрощение обеспечивается за счет некоторого снижения качества распознавания сигналов. Представляет интерес количественно оценить выигрыш по затратам и сравнить его с проигрышем по качеству распознавания.

Степень снижения затрат при использовании устройства  $S^c$  по сравнению с устройством  $S^b$  будем оценивать коэффициентом выигрыша по затратам  $K_z = Z^b / Z^c$ . Здесь  $Z^b, Z^c$  - показатели затрат для устройств  $S^b$  и  $S^c$ , которые могут быть введены в виде взвешенной суммы нормированных значений показателей вычислительных и аппаратурных затрат в режиме распознавания:  $Z^b = k_1 V_p^b + k_2 T_p^b$ ;  $Z^c = k_1 V_p^c + k_2 T_p^c$ . Коэффициенты  $k_1, k_2$

определяются из условия относительной важности аппаратурных и вычислительных затрат.

Для примера на рис.2 приведены зависимости коэффициента выигрыша по затратам от числа информативных признаков  $K_z = f(N)$  для некоторых значений  $L$ , полученные для случая  $M=10$ . Из рис. 2 следует, что выигрыш по затратам для устройства  $S^c$  увеличивается с ростом  $L$  и может достигать



значительной величины.

Рис. 2. Зависимости коэффициента выигрыша по затратам от числа информативных признаков

Для оценки снижения качества распознавания сигналов проведены сравнительные исследования устройств распознавания  $S^b$  и  $S^c$  методом статистического моделирования на выборках псевдослучайных сигналов. Для этого

введен коэффициент проигрыша по качеству распознавания  $K_e = \frac{P_e^c}{P_e^b}$ , где

$P_e^c, P_e^{cb}$  - средняя вероятность ошибки распознавания сигналов с помощью соответственно устройств  $S^c$  и  $S^b$ . Полученные зависимости  $K_e = \phi(N)$  для случая использования разных информативных признаков и решающих правил приведены в [1, 2]. Используя зависимости  $K_z = f(N)$  и  $K_e = \phi(N)$ , нетрудно построить графики, позволяющие сопоставить проигрыш по качеству распознавания с выигрышем по реализационным затратам. В качестве иллюстрации на рис.3 приведен график для случая  $L = 60, M = 6$ . Из него следует, что для устройства распознавания  $S^c$  выигрыш по затратам почти на порядок больше проигрыша по качеству распознавания по сравнению с устройством  $S^b$ . Заметим, что при анализе затрат предполагалась реализация данных устройств на основе последовательного принципа выполнения вычислений, определяемых алгоритмом распознавания. Однако, существует теоретический и технический предел повышения быстродействия последовательного вычис-

лителя. Ограничения на значения  $L$  и  $M$  при работе устройств распознавания сигналов в реальном масштабе времени могут быть сняты при реализации устройств распознавания на основе модели коллектива вычислителей. Эта мо-

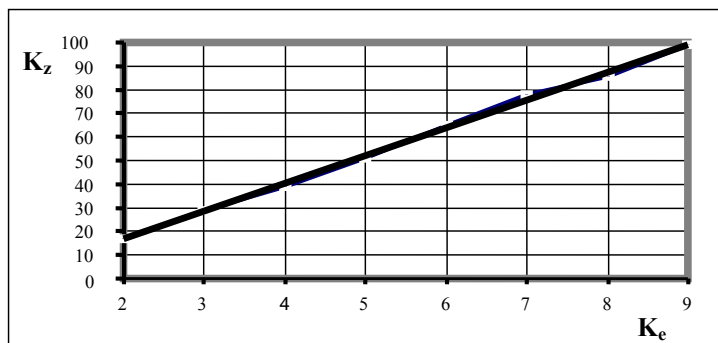


Рис. 3. Зависимость коэффициента выигрыша по затратам от коэффициента проигрыша по качеству распознавания

дель строится на принципах распараллеливания вычислительного процесса, переменной логической структуры и конструктивной однородности элементов и связей [3, 4]. При использовании этой модели вычислительное устройство представляется как совокупность последовательных вычислителей, объединенных в единую модель коллектива вычислителей. Как следует из структурной схемы устройства распознавания, изображенной на рис.1, существует возможность распараллеливания вычислительного процесса на этапе распознавания [4].

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Омельченко В.А. Основы спектральной теории распознавания сигналов. – Харьков: Вища школа, 1983. – 156 с.
- 2 Омельченко В.А., Матевицкий Е.О., Балабанов В.В., Безрук В.М. Распознавание случайных сигналов по спектру // Известия ВУЗов СССР. – Сер. Радиотехника. – 1979. – №12. – С.16 - 22.
- 3 Евреинов Э.В. Однородные вычислительные системы, структуры и среды. – М.: Радио и связь, 1981. – 208 с.
- 4 Безрук В.М. Мультимикроспроцессорная система распознавания сигналов связи // Цифровые устройства и микропроцессоры в системах передачи информации. – Харьков: ХИИТ. – 1987. – Вып.4. – С. 62 - 65.

*Поступила в редколлегию 25.09.2000*